

コーティング用工具材料

Tool Material for Coating

キーワード

ハイス、コーティング用工具材料、コーティング、粉末ハイス、切削工具、工具鋼

東富山製鋼所技術部
青井幸裕
田中康夫

■ 摘要

コーティング用工具材料としてのハイスの種類と特性を紹介するとともに、TiNを中心としたコーティング被覆とハイスとの密着性をとりあげ、成分、表面性状、硬さ等の影響について触れた。密着性を向上させるには、ハイスのV量が高い程、硬さが高い材料が有効である。しかし、最適材料の理論的裏付けはなお今後の研究課題である。また本紙では、現在、切削工具に用いられる代表的な用途別専用ハイスの特長とその実施例についても報告を行なった。

■ Abstract

This report introduces the kinds and characteristics of various high-speed steels which were to be used for coated tool materials and also describes how adhesion strength between titanium nitride films and high-speed steels changes by compositions and conditions of the surface and hardness.

In order to get better adhesion strength it is needed that high-speed steels contain more vanadium, and that materials have higher hardness.

However, to develop a most suitable materials for coating, further the theoretical studies will be needed. In this paper the characteristics of various high-speed steels which were developed for special cutting work will be reviewed and also written how these materials are used during the manufacture cutting lines.

1. はじめに

近年、機械加工における加工技術の進歩は、各種切削工具や塑性加工工具に対して、より一層の高能率化と高信頼性を求めている。このようなニーズのもとで耐摩耗性の向上を目的としてコーティング工具が開発され普及してきた。コーティング工具の性能は、コーティング技術のみならず工具の製造技術や母材の製造技術の総合的な評価として与えられる。コーティングされる母材の材料技術の向上は現在重要な課題といえよう。

本報では、TiNを中心としたコーティング（以下単にコーティングと記す）用工具材料としてのハイス（高速度工具鋼）についてコーティング膜との関係、ハイスの種類、特性の概要、そして適用例について紹介する。

2. コーティング膜とハイスの特性

2.1 ハイスの種類と切削工具

（以下工具と記す）

コーティング用母材としてハイスの要求機能は、基本的には無処理工具の場合と同様に使いやすさ、作りやすさから追求される。図1は、それぞれの立場からハイスに要求される特性を整理したものであるが、工具との関連では特に

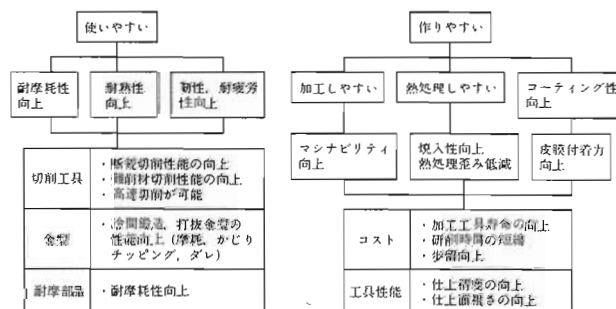


図1 ハイスの要求特性

表1 NACHI ハイスの種類と鋼種特性

製法分類	区	鋼種				主要化学成分 (%)								鋼種特性					NACHI 記号
		NACHI 記号	該当規格記号			C	W	Mo	Cr	V	Co	他	耐摩耗性	韌性	高温硬さ	被研削性	到達硬さ (HRC)		
			AISI	VDEh	DIN													JIS	
通常溶解法 (含 ESR・VAR)	W系	SKH2	T1	S18-0-1	3335	SKH2	0.8	18	1	4	1			5	3	4	9	66	SKH2
		HS12T		S12-1-2	3318		0.85	11	1	4	2			3	5	3	6	66	HS12T
		SKH3	T4	S18-1-2-5	3255	SKH3	0.80	18		4	1	5		8	1	7	9	67	SKH3
		SKH4	T5	S18-1-2-10	3265	SKH4	0.80	18		4	1	10		8	1	9	8	68	SKH4
		HS55T	T15	S12-1-4-5	3202	SKH10	1.55	13		4	5	5		9	1	7	1	67	HS55T
		SKH9	M2	S6-5-2	3343	SKH51	0.88	6	5	4	2			4	8	3	4	66	SKH9
		* HSK17					0.90	3.5	2.5	4	1.5	Si1.0	Nb0.2	2	6	2	6	66	* HSK17
		* HSU2C					0.90	7	3	4	1.5		Nb0.2	2	7	2	8	66	* HSU2C
		* SKH9D					0.75	6	5	4	2			1	9	1	9	65	* SKH9D
		HSD42	H42				0.65	6	5	4	2			1	9	3	9	63	HSD42
	Mo系	HSD91					0.65	3.5	2.5	4	1.5	Si1.0	Nb0.2	1	10	1	10	64	HSD91
		HM3	M3-2		3344	SKH53	1.20	6	5.5	4	3			8	6	5	2	66	HM3
		HM35	M35	S6-5-2-5	3243	SKH55	0.90	6	5.5	4	2	5		6	4	6	4	67	HM35
		* HS53M					1.05	6	6	4	2.5	5		7	4	6	3	67	* HS53M
		* HS52R					1.00	8	3.5	4	1.8	7		7	4	7	8	68	* HS52R
		HM36	M36			SKH56	0.85	6	5	4	2	8		8	3	8	4	68	HM36
		* HSU6C					0.90	7	3	4	1.5	3	Nb0.2	3	7	5	8	67	* HSU6C
		HS93R	T42	S10-4-3-10	3207	SKH57	1.30	10	3.5	4	3.5	10		9	2	9	2	69	HS93R
		* HS98M					1.30	8	6	4.5	3.5	13		9	1	9	2	70	* HS98M
		* HS97R					1.10	7.5	5.5	4	1.8	9		8	4	8	9	69	* HS97R
		HM1	M1	S2-9-1	3346		0.80	1.5	8.5	4	1			3	8	2	10	65	HM1
		HM7	M7	S2-9-2	3348	SKH58	1.00	1.5	8.5	4	2			4	8	3	6	66	HM7
		HM33	M33				0.90	1.5	9.5	4	1	8		8	3	8	8	68	HM33
		HM42	M42	S2-10-1-8	3247	SKH59	1.10	1.5	9.5	4	1	8		8	3	8	9	69	HM42
		HM50	M50		3551		0.80		4	4	1			1	9	1	10	64	HM50
		* HMT8					1.20	3.5	8	4	2.1			6	6	4	5	67	* HMT8
		* HMT9					1.20	3	10	4	2.5			7	7	5	5	67	* HMT9
		* HMT12					1.20	3.2	8	4	2.7			8	5	5	3	67	* HMT12
粉末冶金法	Mo系	FAX18	M42	S2-10-1-8	3247	SKH59	1.10	1.5	9.5	4	1	8	7	5	8	9	69	FAX18	
		FAX31	M3-2		3344	SKH53	1.30	6	5	4	3		7	9	5	7	66	FAX31	
		FAX38					1.30	6	5	4	3	8		9	4	8	4	69	FAX38
	W-Mo系	FAX40	T42	S10-4-3-10	3207	SKH57	1.30	10	3.5	4	3.5	10		1	3	9	3	69	FAX40
		FAX55	T15	S12-1-4-5	3202	SKH10	1.55	13		4	5	5		9	3	7	2	69	FAX55
		* FAXG1					2.0	10.5	5.5	4	5	10		10	2	10	1	70	* FAXG1

*の記号は、不二越の開発鋼種である
鋼種特性は到達硬さを除いて相対比較であり、数値が大きい程良
但し、この表のみで有効

工具自身の使われ方（コスト、切削形態、被削材や加工条件）に依存している面が強い。

表1に当社ハイスの種類と鋼種特性の位置づけを示した。ハイスは、その製造法によつて溶解ハイスと粉末ハイスに大別されそれぞれ鋼種は、主成分のW, Mo, V, Coなどの組合せて使用目的に応じ選択される。これらのハイスが多種に分化される背景には図1に示したハイスの要求特性と工具の多様性に影響されるためと考えられる。

切削の機能は、基本的に高強度の金属を分断、削り取ることである。工具刃先は耐摩耗性が要求される一方、刃先が欠けない靱性という背反した特性も要求される。これが多種多様なハイスを生み出した理由の一つとなっている。耐摩耗性は、ハイスのマイクロ組織に分布する炭化物によつ

表2 ハイスの主な炭化物の種類と結晶構造

炭化物	鋼種	格子常数 (Å)	化学成分 (%)					比重
			C	W	Mo	Cr	V	
M ₆ C 面心立方晶	W, V 高速度鋼	11.06	1.8	70	-	3	2	11.5
	W-Mo 高速度鋼	11.07	2	40	24	4	3	9.5
	Mo 高速度鋼	11.07	2.5	-	62	6	4	8.0
MC 立方晶	W, V 高速度鋼	4.16	12	23	-	8	52	7.0
	W-Mo 高速度鋼	4.16	13	13	4	10	53	6.8
	Mo 高速度鋼	4.16	14	-	12	12	58	6.3
M ₂₃ C ₆ 面心立方晶	W, V 高速度鋼	10.60	5	20	-	36	2	8.0
	W-Mo 高速度鋼	10.59	5.5	13	3	44	3	7.8
	Mo 高速度鋼	10.54	6	-	8	46	4	7.3

て得られる。表2にハイスの主な炭化物の結晶構造を示し、表3に各種ハイスの炭化物の構成を示した。ハイスの焼入品では残留する一次炭化物は主としてM₆C, MC (M

表3 ハイスの標準熱処理状態における炭化物と基地鉄の組成

分類	鋼種	化学成分 (%)						処理	全炭化物量		炭化物構成 (Vol %)		
		C	W	Mo	Cr	V	Co		Wt %	Vol %	M ₆ C	M ₂₃ C ₆	MC
W系	SKH2	0.72	18.1	0.40	4.13	1.04	-	A	28.1	29.2	18.9	9.2	1.1
								Q 1290°C	14.8	10.2	9.8	-	0.4
	SKH3	0.73	17.9	0.78	4.25	1.12	4.95	A	28.6	29.5	18.9	9.3	1.3
								Q 1240°C	15.6	11.2	10.8	-	0.4
	HS12T	0.86	11.0	-	4.42	1.97	-	A	20.0	15.8	8.8	3.5	3.5
								Q 1240°C	8.5	6.5	4.6	-	1.9
	HS55T	1.49	12.1	0.32	4.79	4.90	4.95	A	23.4	32.2	11.5	10.2	10.5
								Q 1250°C	12.4	12.4	4.2	-	8.2
Mo系	HM1	0.80	1.75	8.61	3.80	1.23	-	A	21.1	28.9	16.7	9.5	2.7
								Q 1200°C	9.8	9.8	8.5	-	1.3
	SKH51	0.83	6.38	5.25	4.22	1.97	-	A	20.8	28.0	16.0	9.0	3.0
								Q 1220°C	11.8	9.2	7.8	-	1.4
	HM4	1.27	5.48	4.54	4.52	4.13	-	A	20.9	31.9	12.0	11.0	8.9
								Q 1220°C	8.0	9.8	4.3	-	5.5

は金属)であり、その量は合金成分により変化する。しかし、実際の切削工具では耐摩耗性が大きく硬さの高いものが良い性能を生むとは限らない。鋼種や同じ鋼種でも炭化物の分布状態、熱処理条件、切削工具の種類、使用条件によっても性能は影響される。表4に切削工具用として各種ハイスの用途を示した。

2.2 コーティング膜の機能

現在、工具用材料は、超硬合金、サーメットあるいはセラミックスなどその種類に広がりを見せている。一般に普及しているコーティング工具の膜成分は、セラミックスが主要成分である。金色のこのTiNは耐摩耗性がハイスより極めて高いのでコーティング膜においてもこれが強調されているが、工具の性能は先に述べたように耐摩耗性以外に切削現象と関連して耐熱性、耐酸化性、あるいは耐凝着性(溶着性)などが重要な機能として必要である。

耐摩耗性に関していえばコーティング工具の場合も無処理の場合と同様切削現象の作用が大きく影響している。表5にセラミックスの特性について示したが、硬さの高いものでも工具として使用されないものや被削材を限定した使い方をするものなどが多い。工具の表面においては耐摩耗性は前提であり、硬質材料の特性の他に工具の機能面から要求される特性がコーティング膜として重要となる。例えば、TiNの場合サーメットと同じように鋼の切削では他のセラミックスに比較し凝着性が少なく、耐酸化性も合わせ持っている。これらの特性やその他の物理的性質が母材の特性と補完しあう結果コーティング工具の優れた性能を引き出すことができる。

表4 各種ハイスの用途

品名	推奨鋼種		
	一般	重切削	難削
ハクソー	SKH51	HM42, FAX38	HS93R FAX40, FAX55
メタルバンドソー	SKH51	SKH51, HM42	HS93R, FAX18 FAX40, FAX55
ドリル	SKH51	HM33, HM35, HS53M, HM36	HS93R FAX38, FAX55
リーマ	SKH51	HM35, HS53M FAX38	HM42, FAX55
エンドミル	SKH51	HM42, HS97R FAX38	HS97R FAX55, FAXG1
タップ	HM7	HMT8, HMT12 FAX38	FAX38
ブローチ	SKH51, HM35 FAX31	HS53M, HM42 FAX38	HM42, HS93R FAX55, FAXG1
ホブ	HM35, HS53M FAX31	HS53M FAX38, FAX55	HS93R FAXG1
ギヤカッタ	SKH51, HS52R FAX31	HS53M, FAX38 FAX40, FAX55	HS53M, HS93R FAXG1
ミリングカッタ	SKH51	HM35, HS53M FAX38	HM42, HS93R FAX40
バイト	SKH51, SKH2 HS53M, SKH3	SKH4, HS93R HS98M, FAX55	FAXG1

2.3 コーティング膜の密着性(付着性)

コーティング膜で問題となるのが母材ハイスとの密着性である。密着性は、コーティング粒子の母材ハイスとの付着確率と解釈できる。母材ハイスからみると表面の凹凸や欠陥、炭化物の量などが関与する。密着性を示す特性値は、種々の評価方法で測定されるが工具性能との関連では一部を除きまだ明確に解明されていない。¹⁾密着性の測定法として簡便で比較的多く利用されているものとしてスクラッチ試験がある。²⁾スクラッチ試験は、コーティングされた工具表面にダイヤモンド圧子を一定の負荷速度を加え圧子または工具を移動させたとき生ずる急激な荷重変動を示す臨界荷重(Lc)を計測しその大小によって評価を

表 5 各種硬質物質（セラミックス）の特性

Composition		Lattice type	Hardness (Hv)	Melting point (°C)	Coef. of thermal conductivity (Wm ⁻¹ k ⁻¹)	Coef. of thermal expansion (10 ⁻⁸ /°C)
Carbide	B ₄ C	Rombohedral	4,900~5,000	2,350	29	4.5
	TiC	F. C. C.	2,980~3,800	3,180	17-33	7.61
	VC	F. C. C.	2,800	2,830	4.2	6.5
	HfC	F. C. C.	2,700	3,890	6.3	6.73
	ZrC	F. C. C.	2,600	3,530	20	6.93
	NbC	F. C. C.	2,400	3,480	14	6.84
	WC	Hexagonal	2,000~2,400	2,730	29	6.2
	TaC	F. C. C.	1,800	3,780	22	6.61
	Cr ₃ C ₂	Triclinic	1,300	1,890	19	10.3
Nitride	TiN	F. C. C.	2,400	2,930	29	9.35
	VN	F. C. C.	1,500	2,050	11	8.1
	HfN	F. C. C.	2,000	2,700	11	6.9
	ZrN	F. C. C.	1,900	2,980	11	7.9
	NbN	F. C. C.	1,400	2,300	3.8	10.1
	TaN	Hexagonal	1,300	2,090	9.6	5.0
	BN	Cubic	4,700		180・201・1298	4.8(at 430°C)
Oxide	Al ₂ O ₃	Hexagonal	2,100	2,030	30	8.6
High speed Steel		-	850	1,300	50	11.0

Ref. L. E. Campbell ed : High Temperature Technology (1956), W. D. Kingery : Property Measurements at High Temperature (1956), R. Kieffer etc : Hartstoffe und Hartmetalle (1953), Japan Metal Society ed : Metal-Book (1974),

行う測定方法である。この臨界荷重 (Lc) が低い (密着性が弱い) ほど工具性能が低下する報告が各研究機関で報告されている。¹⁵⁾ハイスの炭化物のなかでもMC型炭化物はV量の増量に伴い増加するがTiN処理された場合、炭化物とTiNの結晶格子定数がきわめて近く整合性が良いため図2に示すような臨界荷重 (Lc) は大きな値を示す。³⁾⁴⁾また、図3では、母材ハイス表面の仕上げ面粗さが平滑であるほど臨界荷重 (Lc) は大きな値を示す。図4の母材ハイスの硬さの関係でみると硬さが高いほど臨界荷重 (Lc) は大きくなる。その他、母材ハイスの臨界荷重 (Lc) に関する因子として炭化物の分布形態、結晶粒度などの強度特

性も影響する。⁶⁾以上、スクラッチ試験の評価例からコーティング膜の密着性を述べたが、評価方法を含め工具性能との関連はさらに追求すべき課題である。¹⁾

3. 用途別専用鋼種の適用例

3.1 溶解ハイス

(1) ドリル

SKH51が汎用材種であるが、ステンレス等の難削材加工や深穴加工などの苛酷な加工や特殊加工条件に用いる場合にはコバルト系ハイスが常用され当社鋼種ではHS53M、

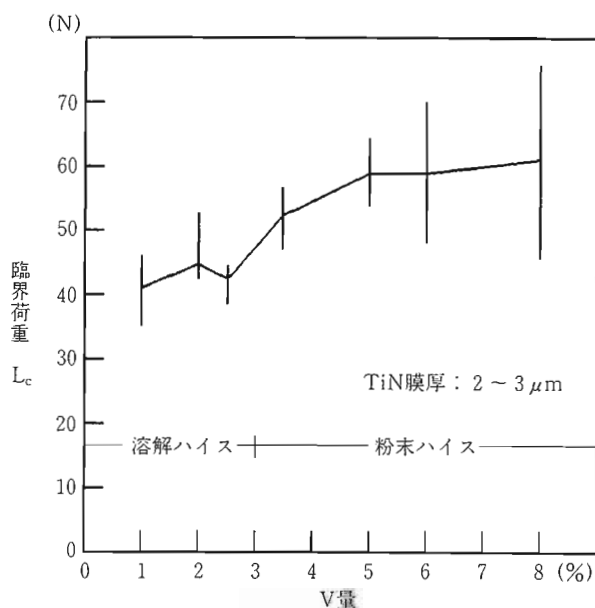


図2 ハイスのV量とスクラッチ臨界荷重の関係

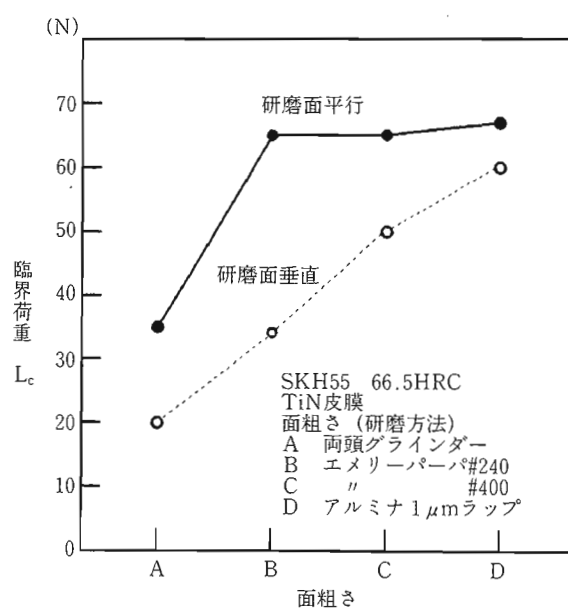


図3 スクラッチ臨界荷重と表面性状との関係

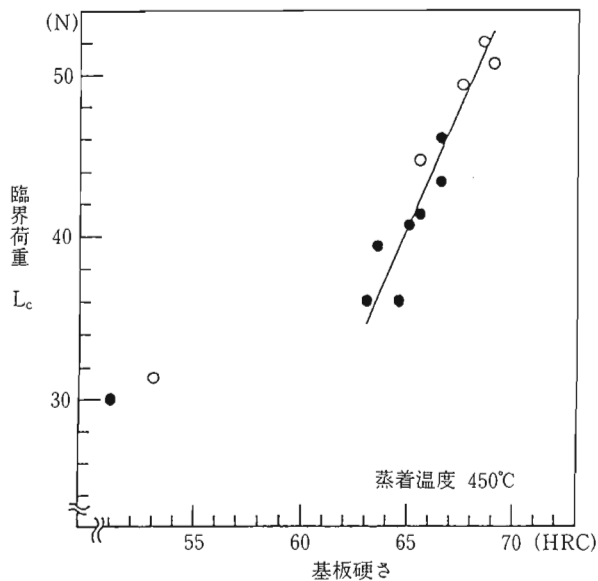


図4 FAX31相当材 (●) とFAX38相当材 (○) の硬さと密着性

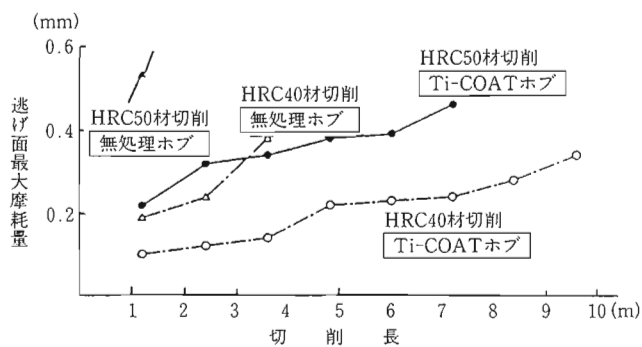
HM33が主流になっている。これらを母材ハイスとしたコーティングドリルは、マシニングセンタやNCフライス盤等の加工に適し、高い穴精度を持続し、高速、高送りの切削加工を可能にしている。また、耐摩耗性、耐熱性に優れた新しいドリル材も開発されている。

(2) エンドミル

従来、SKH59が主流であったがコーティング品質の向上に大きく寄与している真空焼入時の品質安定性やエンドミルの刃先コーナのチッピングの発生等の問題から、その改善を目的として開発されたのが高性能エンドミル用ハイスHS97Rである。HS97Rは、真空焼入に適応させたW-Mo-Co系ハイスで68HRCクラスの高硬度と微細な結晶粒を有するのが特徴である。コーティングエンドミルとしても高い信頼を得ている。図5は、性能例を示したものでコーティング品では従来品のSKH59に勝る。

(3) 歯切工具

ホブ、ピニオンカッタなどの歯切工具は、コーティングの普及により高速切削と高硬度材の切削が増えている。これに伴って耐摩耗性が重要視されている。これはホブにみられるように切刃の外周逃げ面摩耗にコーティングが有効に作用している。外周逃げ面摩耗の低減とコーティングの表層機能、コーティング膜の伝熱特性は結果的に切削時の発熱を抑え高速化に対し有効な働きをなし、母材ハイスの耐熱性を向上させたと同じ効果をもたらすと考えられる。しかし、刃欠けやクレータ摩耗は母材ハイス自体の耐摩耗性、靱性、耐熱性が直接影響するのでその特性も重要である。歯切工具用として当社オリジナル鋼種HS53Mが代表



切削歯車：呼び：m3×PA20°×NT49
 材料：S50C
 ホブ：呼び：m3×PA20°
 材料：HS53M
 切削条件：切削速度：19.8m/min
 送り量：0.5mm/rev
 歯切り方法：クライム
 切削油剤：不水溶性
 切削長：歯幅×歯数×切削個数

図5 HS53M製ホブのコーティングの効果

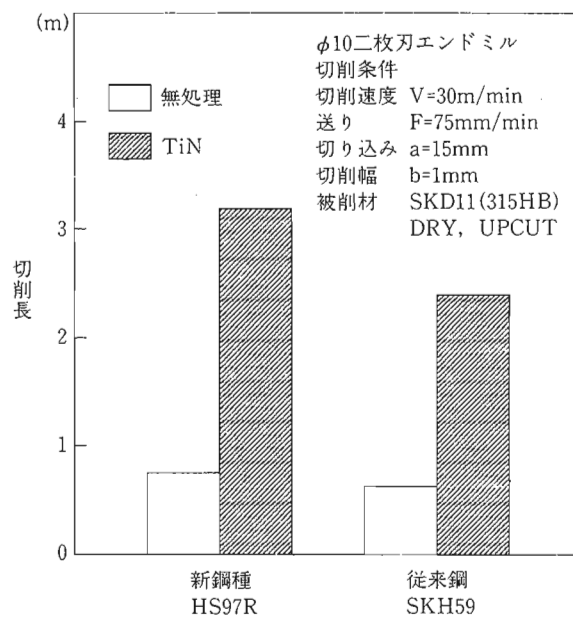


図6 エンドミル用新材種と従来鋼との性能比較例

的で図6にその切削性能例を示す。

歯切工具には大径の製品もあり炭化物の均一性が求められるので特殊溶解のひとつであるESR溶解による材料供給が一般的である。高速加工に適した長寿命材料の要求にたいし新ハイスの開発もおこなわれている。

3.2 粉末ハイス

粉末ハイスは、溶解ハイスに比べ炭化物が微細でしかも高合金化が可能であり溶解ハイスで得られない特徴をもっているため切削工具への用途が増えている。また、各種コーティング工具材料として使用されることも多い。粉末ハイスは、3～5%程度のV量を含むものが多く市販されて

いる。高V化によってMC型炭化物を多く分布させ2.3項で述べたコーティング膜との密着性に良い影響を与えるほか硬質炭化物の微細均一分散は研削加工を容易にし靱性向上にも寄与しているため性能面では溶解ハイスを凌ぐ。図7にSKH51を基準とした場合の当社粉末ハイスの密着性の比較結果を示す。また、図8に当社粉末ハイスの機械的性質、被研削性の比較結果を示す。図9は、高合金粉末ハイスとして代表的なFAXG1のエンドミル性能例を示す。適用例として歯切工具、ブローチ、ドリルではFAX38、FAX55、エンドミルではFAXG1が高い評価を得ている。

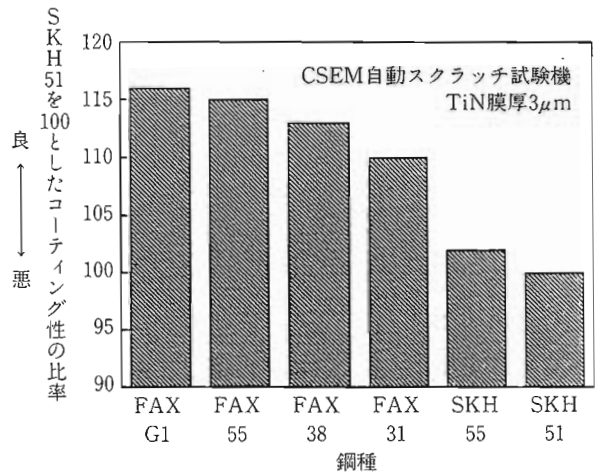


図7 各種粉末ハイスのコーティング性

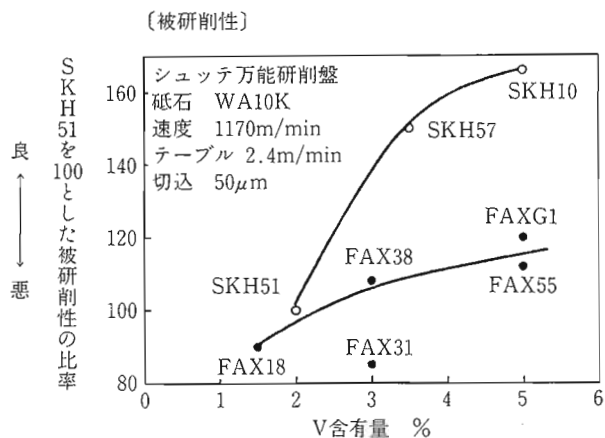
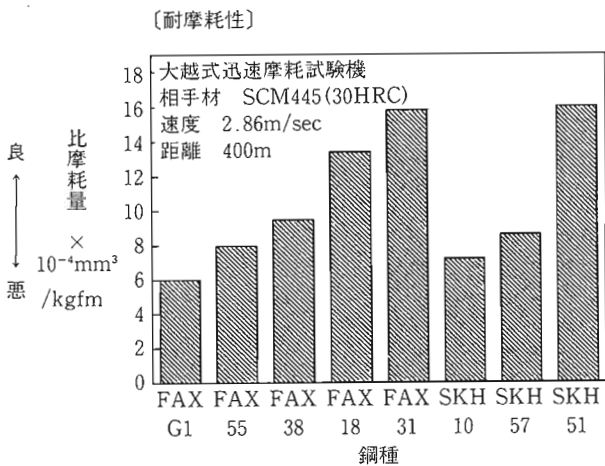
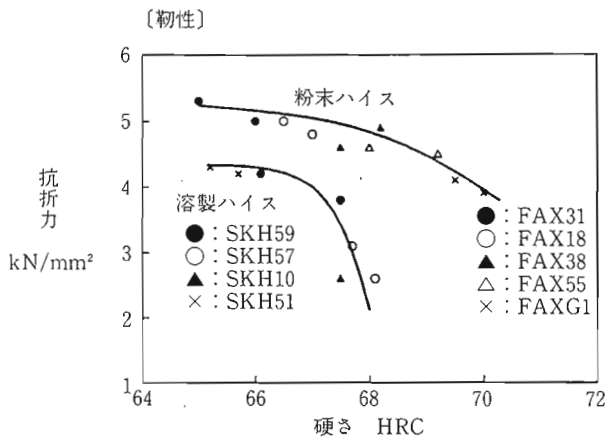


図8 各種粉末ハイスの機械的性質と研削特性

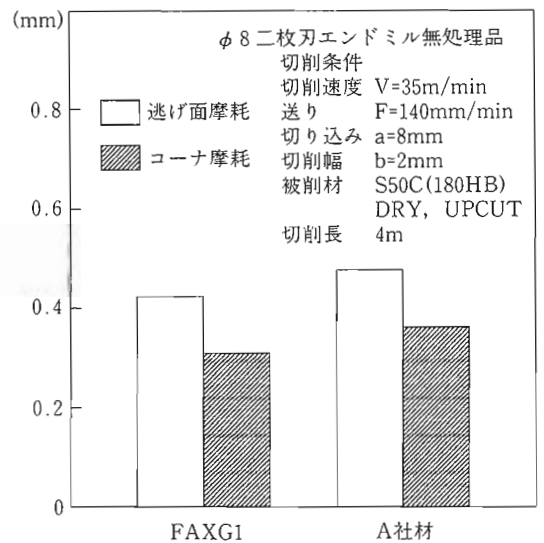


図9 粉末ハイスのFAXG1エンドミル性能例

4. おわりに

コーティング用工具材料について、当社ハイスの鋼種別特性と適用例を中心に報告した。

切削工具材料としてのハイスは、ダイヤモンド、CBN、サーメット、超合金などの進出により使用分野の展開が滞っているがコーティングとの新しい組合せにより今後さらに拡大していくものと期待されている。コーティング工具の性能向上についての解明は、密着性のみならず不明点も多々残されているが今後の開発と研究により、次第に明らかになると思われる。一方、材料供給の立場では特徴ある新材種の開発と高品位な材料を廉価で供給する努力が必要であろう。

文 献

- (1) 安岡；第76回破壊力学部門委員会講演資料，Vol.43, No2, 14-20(1994)
- (2) H.E.Hintermann；Wear 100, 381(1984)
- (3) 安岡，山岸；熱処理協会第32回講演会，63(1990)
- (4) U.Helmerson et al；J.Vac.Sci.Technol.3,2, 308-315(1985)
- (5) 例えば 機械学会，溶接学会の各分科会
- (6) 浅井，山岸；鑄鋼と熱処理，1, 49-55(1990)



青井幸裕

1977年名古屋大学大学院金属工学科卒。
同年㈱不二越に入社。東富山製鋼所技術
部にて塑性加工用工具の開発に従事。
1986年より東京支店鋼材課，製造一課，
技術課課長を経て現在に至る。



田中廣夫

1960年㈱不二越入社
1963年不二越工専（金属）卒。
東富山製鋼所技術部にて工具鋼の材料開
発を担当，現在に至る。